

REC'D 11 APR 2003

W O PCT

20 JUL 2004
JP 03/00401

日 本 国 特 許 庁

JAPAN PATENT OFFICE

18.02.03

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2002年 4月22日

出 願 番 号

Application Number:

特願2002-118900

[ST.10/C]:

[JP2002-118900]

出 願 人

Applicant(s):

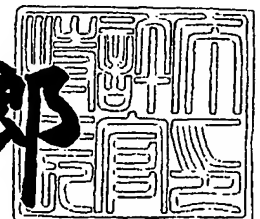
松下電器産業株式会社

**PRIORITY
DOCUMENT**
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

2003年 3月25日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田 信一郎



出証番号 出証特2003-3020585

【書類名】 特許願

【整理番号】 2033840092

【提出日】 平成14年 4月22日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02B 26/08

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内

【氏名】 横山 和夫

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内

【氏名】 浅井 勝彦

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内

【氏名】 入江 庸介

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内

【氏名】 青木 新一郎

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内

【氏名】 野村 幸治

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内

【氏名】 森仲 克也

【特許出願人】

【識別番号】 000005821

【氏名又は名称】 松下電器産業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100097445

【弁理士】

【氏名又は名称】 岩橋 文雄

【選任した代理人】

【識別番号】 100103355

【弁理士】

【氏名又は名称】 坂口 智康

【選任した代理人】

【識別番号】 100109667

【弁理士】

【氏名又は名称】 内藤 浩樹

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 特願2002- 11342

【出願日】 平成14年 1月21日

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 011305

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9809938

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光スイッチおよびその製造方法、それを用いた情報伝送装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 ミラー素子と前記ミラー素子を駆動するアクチュエータとを備え、前記ミラー素子は前記アクチュエータによって伝送路の切り替えを行う光スイッチであって、前記アクチュエータは、薄膜圧電体、電極および弾性体よりなる圧電素子により構成され、電圧印可による前記薄膜圧電体のたわみ変形により前記ミラー素子を駆動させることを特徴とする光スイッチ。

【請求項 2】 前記ミラー素子は、前記薄膜圧電体の構成面に平行な面にミラー面が設けられ、前記アクチュエータは、前記ミラー素子を前記薄膜圧電体の構成面に平行な面より傾斜させることを特徴とする請求項 1 記載の光スイッチ。

【請求項 3】 前記アクチュエータは、長手方向を平行に配置した複数の圧電素子よりなり、前記長手方向と直交に配置したトーションバネによりミラー素子を保持する構成とすることにより前記トーションバネを回転軸とした回転方向に前記ミラーを傾斜させることを特徴とする請求項 2 記載の光スイッチ。

【請求項 4】 前記アクチュエータは、両端が固定端支持され、長手方向を平行に配置した少なくとも一対の、複数の圧電素子よりなり、たわみ変形の変形効率を上げるため圧電素子の長手方向の一部に長手方向のひずみ吸収部を構成したことを特徴とする請求項 2 記載の光スイッチ。

【請求項 5】 前記アクチュエータは、複数の圧電素子により構成され、かつ各圧電素子は複数の電極に分割され、各電極に位相の異なる電圧を印可することにより前記薄膜圧電体を異なった曲率にたわみ変形させることを特徴とする請求項 1 記載の光スイッチ。

【請求項 6】 前記アクチュエータは、複数の圧電素子により構成され、かつ各圧電素子はおおよそ卍（まんじ）状あるいは渦巻き状に配置され、前記圧電素子に電圧を印可することにより、圧電素子をたわみ変形させることを特徴とする請求項 1 記載の光スイッチ。

【請求項 7】 前記圧電素子を構成する弾性体は、少なくともシリコンオンインシュレータ基板を構成する薄膜シリコンまたはシリコン酸化膜を含むことを特

徴とする請求項 1 記載の光スイッチ。

【請求項 8】 前記ミラー素子は、前記薄膜圧電体の構成面の法線方向にミラー一面が設けられ、前記アクチュエータは、前記ミラー素子を前記薄膜圧電体の構成面の法線方向に駆動することを特徴とする請求項 1 記載の光スイッチ。

【請求項 9】 前記アクチュエータは、両端が固定端支持され、長手方向を平行に配置した少なくとも一对の、複数の圧電素子よりなり、たわみ変形の変形効率を上げるため圧電素子の長手方向の一部に長手方向のひずみ吸収部を構成したことを特徴とする請求項 8 記載の光スイッチ。

【請求項 10】 前記アクチュエータは、両端が固定端支持され、長手方向を平行に配置した少なくとも一对の、複数の圧電素子よりなり、たわみ変形の変形効率を上げるため圧電素子のたわみ曲率とは逆曲率にたわむ低曲げ剛性部を構成したことを特徴とする請求項 2 または 8 記載の光スイッチ。

【請求項 11】 前記アクチュエータは、前記ミラー素子を所定の姿勢に保持する手段を有することを特徴とする請求項 2 または 8 記載の光スイッチ。

【請求項 12】 前記保持手段は、薄膜圧電体の駆動とは別の、静電駆動または機械的ラッチによる手段とし、前記ミラー素子の保持時には薄膜圧電体への電圧印可を解除することを特徴とする請求項 2 または 8 記載の光スイッチ。

【請求項 13】 ミラー素子と前記ミラー素子を駆動するアクチュエータとを備え、前記ミラー素子は前記アクチュエータによって伝送路の切り替えを行う光スイッチの製造方法であって、前記アクチュエータは、基板上に形成した薄膜圧電体を、別の基板に転写することにより製作された圧電素子よりなることを特徴とする光スイッチの製造方法。

【請求項 14】 ミラー素子と前記ミラー素子を駆動するアクチュエータとを備え、前記ミラー素子は前記アクチュエータによって伝送路の切り替えを行う光スイッチの製造方法であって、前記アクチュエータは、薄膜圧電体を基板に直接製膜することのより製作された圧電素子よりなることを特徴とする光スイッチの製造方法。

【請求項 15】 前記薄膜圧電体が製膜される基板が、シリコンオンインシュレータ基板であることを特徴とする請求項 14 記載の光スイッチの製造方法。

【請求項 1 6】 ミラー素子と前記ミラー素子を駆動するアクチュエータとを備え、前記ミラー素子は前記アクチュエータによって伝送路の切り替えを行う光スイッチを用いた情報伝送装置であって、前記アクチュエータは、薄膜圧電体、電極および弾性体よりなる圧電素子により構成され、電圧印可による前記薄膜圧電体のたわみ変形により前記ミラー素子を駆動させることを特徴とする光スイッチを用いた情報伝送装置。

【請求項 1 7】 前記ミラー素子は、前記薄膜圧電体の構成面に平行な面にミラー面が設けられ、前記アクチュエータは、前記ミラー素子を前記薄膜圧電体の構成面に平行な面より傾斜させることにより、前記薄膜の構成面のおおよそその法線面に配置された複数の光伝送路を、ミラー面の反射角を制御することにより切り替えることを特徴とする請求項 1 6 記載の情報伝送装置。

【請求項 1 8】 前記ミラー素子は、前記薄膜圧電体の構成面の法線方向にミラー面が設けられ、前記アクチュエータは、前記ミラー素子を前記薄膜圧電体の構成面の法線方向に駆動することにより、前記薄膜の構成面において面内でマトリックス状もしくは平行に配置された複数の光伝送路に、前記ミラー素子を挿入し、伝送路を切り替えることを特徴とする請求項 1 6 記載の情報伝送装置。

【請求項 1 9】 前記アクチュエータは、長手方向を平行に配置した複数の圧電素子よりなり、前記複数の光伝送路は前記複数の圧電素子の長手方向と平行に配置されたことを特徴とする請求項 1 8 記載の情報伝送装置。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光スイッチおよびその製造方法、それを用いた情報伝送装置に関し、特に、ミラー素子を駆動するアクチュエータを備えた光スイッチおよびそれを用いた情報記録再生装置に関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

近年、光を用いた情報伝達装置は、波長分割多重などの伝送高速化技術の発達とともに、インターネットのブロードバンド化を実現し、高速大容量の情報通信

を可能とするための基幹装置となっている。

【0003】

さらに光通信網を効率良く接続するため、光信号レベルでの交換機の機能や光アッテネータ機能を持つ各種の光スイッチが不可欠な装置となっている。

【0004】

これまで光通信網は特に基幹系を中心に発達してきたが、これからさらに地方都市、地域住宅地単位での、より家庭に近い末端においても益々この光スイッチは必要となってくる。

【0005】

このように光通信網で光スイッチをさらに広く普及させるには、挿入損失やスイッチング時間等の基本性能を確保するとともに、従来に増して簡便な構成で安価に製造できる光スイッチが望まれる。

【0006】

光スイッチの従来例として、「MOEMS97, Technical Digest (1997, p165~p170)」には、入力信号の光ファイバーを電磁駆動にて出力信号の光ファイバーに切り替える光スイッチが開示されている。この形式の光スイッチでは光ファイバー自体の比較的大きな質量を駆動する必要があり、切り替え時間の短縮に限界があると共に、電磁駆動のための大電流を要する、という欠点がある。

【0007】

同じく、光スイッチの従来例として、「MOEMS97, Technical Digest (1997, p238~p242)」には、導波路の一部をオイルで見たし、このオイルを移動させたり、あるいは加熱によりバブルを発生させることにより、光路を切り替える型の光スイッチが開示されている。この形式の光スイッチは、反射界面の反射率を反射界面のオイルの有無により制御することに伴い、相対的に挿入損失が大きいという欠点がある。

【0008】

さらに、「MOEMS97, Technical Digest (1997, p233~p237)」には、静電駆動型のミラーによって光路を切り替える型

の光スイッチが開示されている。この形式の光スイッチは、静電駆動のため一般的に高電圧を要し、また大きい駆動力を得るためにミクロン単位の静電ギャップが必要なため、その製造に高度の微細加工を要するという欠点がある。

【0009】

なお、既報の光スイッチの従来技術文献には、本発明に係わる「薄膜圧電体によって圧電駆動する光スイッチ」は開示されていない。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】

前述したごとく、光スイッチをさらに広く普及させるには、挿入損失やスイッチング時間等の基本性能を確保するとともに、簡便な構成で安価に製造できる光スイッチを実現することが重要な課題である。

【0011】

本発明の目的は、上記課題に鑑み、高速大容量化に伴う光通信網の拡大に対応して、高速、高精度光切り替えを低電圧低電力駆動で可能とすると共に、製造の容易さを含めて、実用レベルの具体的構成を備えた光スイッチおよびその製造方法、それを用いた情報伝送装置を提供することにある。

【0012】

【課題を解決するための手段】

本発明に係る光スイッチは、ミラー素子と前記ミラー素子を駆動するアクチュエータとを備え、前記ミラー素子は前記アクチュエータによって伝送路の切り替えを行う光スイッチであって、

前記アクチュエータは、薄膜圧電体、電極および弾性体よりなる圧電素子により構成され、電圧印可による前記薄膜圧電体のたわみ変形により前記ミラー素子を駆動させ、このことにより上記目的が達成される。

【0013】

前記ミラー素子は、前記薄膜圧電体の構成面に平行な面にミラー面が設けられ、前記アクチュエータは、前記ミラー素子を前記薄膜圧電体の構成面に平行な面より傾斜させてもよい。

【0014】

前記アクチュエータは、長手方向を平行に配置した複数の圧電素子よりなり、前記長手方向と直交に配置したトーションバネによりミラー素子を保持する構成とすることにより前記トーションバネを回転軸とした回転方向に前記ミラーを傾斜させてもよい。

【0015】

前記アクチュエータは、両端が固定端支持され、長手方向を平行に配置した少なくとも一对の、複数の圧電素子よりなり、たわみ変形の変形効率を上げるため圧電素子の長手方向の一部に長手方向のひずみ吸収部を構成してもよい。

【0016】

前記アクチュエータは、複数の圧電素子により構成され、かつ各圧電素子は複数の電極に分割され、各電極に位相の異なる電圧を印可することにより前記薄膜圧電体を異なった曲率にたわみ変形させてもよい。

【0017】

前記アクチュエータは、複数の圧電素子により構成され、かつ各圧電素子はおおよそ円（まんじ）状あるいは渦巻き状に配置され、前記圧電素子に電圧を印可することにより、圧電素子をたわみ変形させてもよい。

【0018】

前記圧電素子を構成する弾性体は、少なくともシリコンオンインシュレータ基板を構成する薄膜シリコンまたはシリコン酸化膜を含んでもよい。

【0019】

前記ミラー素子は、前記薄膜圧電体の構成面の法線方向にミラー面が設けられ、前記アクチュエータは、前記ミラー素子を前記薄膜圧電体の構成面の法線方向に駆動してもよい。

【0020】

前記アクチュエータは、両端が固定端支持され、長手方向を平行に配置した少なくとも一对の、複数の圧電素子よりなり、たわみ変形の変形効率を上げるため圧電素子の長手方向の一部に長手方向のひずみ吸収部を構成してもよい。

【0021】

前記アクチュエータは、両端が固定端支持され、長手方向を平行に配置した少

なくとも一对の、複数の圧電素子よりなり、たわみ変形の変形効率を上げるため圧電素子のたわみ曲率とは逆曲率にたわむ低曲げ剛性部を構成してもよい。

【0022】

前記アクチュエータは、前記ミラー素子を所定の姿勢に保持する手段を有してもよく、また前記保持手段は、薄膜圧電体の駆動とは別の、静電駆動または機械的ラッチによる手段とし、前記ミラー素子の保持時には薄膜圧電体への電圧印可を解除してもよい。

【0023】

本発明に係る光スイッチの製造方法は、ミラー素子と前記ミラー素子を駆動するアクチュエータとを備え、前記ミラー素子は前記アクチュエータによって伝送路の切り替えを行う光スイッチの製造方法であって、

前記アクチュエータは、基板上に形成した薄膜圧電体を、別の基板に転写することにより製作された圧電素子よりなり、このことにより上記目的が達成される。

【0024】

本発明に係る光スイッチの製造方法は、ミラー素子と前記ミラー素子を駆動するアクチュエータとを備え、前記ミラー素子は前記アクチュエータによって伝送路の切り替えを行う光スイッチの製造方法であって、

前記アクチュエータは、薄膜圧電体を基板に直接製膜することにより製作された圧電素子よりなり、このことにより上記目的が達成される。

【0025】

前記薄膜圧電体が製膜される基板は、シリコンオンインシュレータ基板であってもよい。

【0026】

本発明に係る情報伝送装置は、ミラー素子と前記ミラー素子を駆動するアクチュエータとを備え、前記ミラー素子は前記アクチュエータによって伝送路の切り替えを行う光スイッチを用いた情報伝送装置であって、

前記アクチュエータは、薄膜圧電体、電極および弾性体よりなる圧電素子により構成され、電圧印可による前記薄膜圧電体のたわみ変形により前記ミラー素子を

駆動させる光スイッチを用い、このことにより上記目的が達成される。

【0027】

前記ミラー素子は、前記薄膜圧電体の構成面に平行な面にミラー面が設けられ、前記アクチュエータは、前記ミラー素子を前記薄膜圧電体の構成面に平行な面より傾斜させることにより、前記薄膜の構成面のおおよそその法線面に配置された複数の光伝送路を、ミラー面の反射角を制御することにより切り替えることとしてもよい。

【0028】

前記ミラー素子は、前記薄膜圧電体の構成面の法線方向にミラー面が設けられ、前記アクチュエータは、前記ミラー素子を前記薄膜圧電体の構成面の法線方向に駆動することにより、前記薄膜の構成面において面内でマトリックス状もしくは平行に配置された複数の光伝送路に、前記ミラー素子を挿入し、伝送路を切り替えることとしてもよい。

【0029】

前記アクチュエータは、長手方向を平行に配置した複数の圧電素子よりなり、前記複数の光伝送路は前記複数の圧電素子の長手方向と平行に配置されてもよい。

【0030】

【発明の実施の形態】

（実施の形態1）

図1は本発明の実施の形態1における光スイッチの斜視図を示す。また図2は同じく本発明の実施の形態1における光スイッチの一部を表す断面図を示す。

【0031】

基板7上にはミラー素子1、および薄膜圧電体3、電極4a、4b、4c、弾性体5よりなる圧電素子2が構成され、電極に電圧を印可することにより薄膜圧電体3がたわみ変形し、ミラー素子1を駆動する。圧電素子2はその長手方向8に平行に複数配置され、この長手方向と直交した方向にトーションバネ6を設け、ミラー素子1を基板7に連結して保持する。さらにミラー素子1は圧電素子2とはひずみ吸収部10で連結する。

【 0 0 3 2 】

このような構成によりトーションバネ 6 を回転軸 9 とし、圧電素子 2 により駆動され、ミラー素子 1 をこの回転軸 9 まわりに傾斜させるアクチュエータとなる。トーションバネ 6 によりミラー素子 1 の回転軸 9 を固定することにより、高精度で外乱に対して安定なミラーの駆動ができる。

【 0 0 3 3 】

図 2 の断面図において、この圧電素子の駆動動作原理を述べる。

【 0 0 3 4 】

薄膜圧電体 3 には 2 分割された上部電極 4 a および 4 b と下部電極 4 c とが形成されており、薄膜圧電体 3 はその膜厚方向に分極されている。

【 0 0 3 5 】

薄膜圧電体 3 を挟んで対向した電極間（4 a - 4 c 間、4 b - 4 c 間）に電圧を印可することにより、薄膜圧電体 3 の面内に圧電定数 d_{31} に応じたひずみが発生し、一方弾性体 5 はこの電圧印可によりひずみを発生しないため、圧電体、電極および弾性体よりなる圧電素子 2 にたわみ変形が生じる。

【 0 0 3 6 】

電極 4 c を中間電位として電極 4 a および 4 b に逆相の電圧を印可することにより、電極 4 a 部と電極 4 b 部では逆の曲率のたわみ変形が生じる。この結果ミラー素子 1 を保持するトーションバネ 6 を回転軸としてミラー素子 1 を効率よく傾斜させることができる。

【 0 0 3 7 】

構造上、圧電素子 2 の固定端とトーションバネ 6 との距離は一定であるため、圧電素子 2 のこのようなたわみ変形に伴い、この圧電素子 2 の長手方向のひずみあるいは変位を拘束する傾向を生じ、ミラー素子 1 を効率よく傾斜させることに支障を生じる。この拘束を緩和する手段として、圧電素子 2 の長手方向の剛性を弱めた構造のひずみ吸収部 10 を、圧電素子 2 とミラー素子 1 の間に設ける。このことにより上記の多分割電極構成の効果と併せて、ミラー素子 1 を効率よく傾斜させることができる。

【 0 0 3 8 】

なお、電極への配線構造については図示していないが、2分割した電極の可動部に近い電極4 aへの配線はこのひずみ吸収部10およびトーシヨンバネ6を通じて基板7の周辺に引き出す構造をとることができる。

【0039】

図3は本発明の実施の形態1における光スイッチの光伝送路の切り替え原理を説明する断面図を示す。光伝送路11 aを出射した光ビーム12 aはミラー素子1のミラー面1 aに入射し反射される。圧電素子2により駆動され回転傾斜したミラー面が図3のごとくのある位置にあるときには、この光ビームは12 bの方向に反射され光伝送路11 bに入射される。ミラー面が逆の方向に回転傾斜した位置では光伝送路11 cに入射される。このように圧電素子によりミラー素子の回転角を駆動制御することにより入力光を異なった光伝送路に出力することができる。光伝送路が屈折率傾斜型の光ファイバーの場合、入射光ビームはある程度コリメートされた状態で出力用光ファイバーに入射される。光スイッチの構成上この到達距離を長くする必要がある場合には図示していないが必要に応じて光ファイバーの入出射端にコリメータレンズを設ける。

【0040】

図4は本発明の実施の形態1における光スイッチの周波数応答特性の一例を表すグラフを示す。図1に示した構造の光アクチュエータについて解析計算した光スイッチの周波数特性である。圧電定数は製膜した薄膜PZTで測定された圧電薄膜の圧電定数 $d_{31} = -100 \times 10^{-12} \text{ m/V}$ とし、PZTの寸法は長さ2 mm、幅0.8 mm、厚み3 μm とし、電極長は可動端側4 aの長さを0.6 mm、固定端側4 bの長さを1.2 mmとした。弾性体5としてアルミニウムを用い、その厚みを6 μm 、トーシヨンバネ6およびひずみ吸収部10も弾性体5と連続した構造とし、その厚みを6 μm 、幅を50 m μ とした。基板7にはシリコンを用い、ミラー素子2をこの基板の一部をエッチング加工により残した構造としその寸法を0.5 mm角、厚み0.2 mmとし、全体寸法は長さ6 mm、幅3 mm、厚み0.2 mmとした。

【0041】

電極の剛性は他の部材に比べて十分小さいので解析計算上は計算モデルから除

き、有限要素法により計算したところ、 $\pm 15 \text{ V}$ の電圧印可によりミラー素子を回転軸まわりに ± 2.9 度傾斜できることがわかった。本発明のアクチュエータは圧電体として製膜した数 μm 膜厚の薄膜圧電体を用いているため、印可電圧が低いにもかかわらず圧電体内に生じる電界強度を大きくとることができ、低電圧で効率よく変位を発生させることができる。

【0042】

図4の上のグラフは横軸を駆動周波数、縦軸をミラー素子の回転軸まわりの傾斜に伴うミラー端での変位を表したものの、下のグラフは同じく横軸を駆動周波数、縦軸に駆動周波に対する上記ミラー変位の位相を表したものである。主共振周波数は 2.7 KHz であり、これより低い周波数では位相ずれなく応答しており、このことからこの光スイッチの切り替え時間は少なくとも 1 msec 以下の高速動作することがわかった。

【0043】

本実施例の光スイッチの製造方法として、大きく2つの方法をとることができる。第1の方法は、基板上に形成した薄膜圧電体を、別の基板に転写する製造法である。この製造法では薄膜圧電体の圧電定数等の材料特性に有利な基板材料、たとえばPZTの製膜をスパッタ蒸着により行う場合、PZTのエピタキシャル成長にMgO基板を用い下地層としてPtを用いると、優れた圧電特性を持つPZT膜を得ることができる。この薄膜圧電体を弾性体に接着等の方法で転写し、その後この製膜基板を除去することで上記構成の光スイッチを形成することができる。

【0044】

第2の方法は、薄膜圧電体を基板に直接製膜する製造法である。この場合、薄膜圧電体の良好な圧電特性を得るためその下地の構成材料の選択に制約を受けるが転写プロセスが不要な分簡便な製造法となる。たとえば本実施例の図2における断面図では、薄膜圧電体3が電極4cを介して弾性体5の上に構成されているが、この弾性体として上記計算解析で用いたアルミニウム上に特性の優れた圧電薄膜を形成することは一般に難しい。直接製膜法をとる場合にはたとえば基板のSi上に下地バッファ層を形成した後電極と薄膜圧電体層を製膜し、この後弾

性体層をその上に形成した上、圧電素子下部の S i 基板を除去する方法をとることができる。この場合の光スイッチの断面構成はかならずしも図 2 に記した構成とはならないことは勿論である。薄膜圧電体の製膜法としては上記のスパッタ法以外にゾルゲル法を用いることもできる。

【 0 0 4 5 】

薄膜圧電体を S i 上に直接製膜する場合、シリコンオンインシュレータ (S O I) 基板を用いると、この S O I 基板を構成するシリコン薄膜を弾性体として残すことができるので好都合である。シリコン薄膜と、このシリコン薄膜の下地層であるシリコン酸化膜とのエッチング選択性を利用することにより、圧電素子のたわみ変形効率を稼ぐのに望ましい均一で低い曲げ剛性の弾性体層を形成することができる。この弾性体として S O I 基板を構成するシリコン薄膜のみを残してもよく、シリコン薄膜とシリコン酸化膜の両方を残してもよい。製膜時のドーピングガス雰囲気条件などのプロセス条件を変えることで、これらの薄膜に残留する内部応力を制御することができ、薄膜圧電体の内部応力とバランスをとることで圧電素子の形状精度を確保することができる。

【 0 0 4 6 】

(実施の形態 2)

図 5 は本発明の実施の形態 2 における光スイッチの斜視図を示す。この光スイッチでは 4 つの圧電素子をおおよそ卍 (まんじ) 状に配置しており、各圧電素子に異なった位相の電圧を印可することにより、可動部に設けたミラー素子 1 を任意の方向に傾けることができる。

【 0 0 4 7 】

光伝送路として入出射端にコリメータレンズをそなえた光ファイバー 1 1 を基板 7 のおおよそ放線方向に多数配置する。光ファイバー 1 1 a を出射した光ビーム 1 2 a はミラー素子 1 に入射し反射される。圧電素子 2 により駆動され回転傾斜したミラー面が図のごとくのあるときにはこの光ビームは 1 2 b の方向に反射され光ファイバー 1 1 b に入射される。ミラー面が別の方向に回転傾斜した位置では他の光ファイバーに出力することができる。このように圧電素子によりミラー素子の回転角を駆動制御することにより入力光を異なった光伝送路に出

力することができる。ミラー素子の駆動制御は各出力光の強度をモニターすることにより帰還制御する。

【0048】

なお、この実施例では4つの圧電素子をおおよそ卍（まんじ）状に配置したが同様に渦巻き状に配置する構成でも同様の機能を持たせることができる。複数の圧電素子をこのような配置にすることにより、実施の形態1の構造で問題となった圧電素子の固定端間に生じるひずみあるいは変位を拘束する傾向が自然に緩和され、ミラー素子を効率よく傾斜させることができる。

【0049】

本実施例では基板7としてステンレスあるいはチタン等の金属薄板、板厚10 μm ～30 μm を用い、電極付きPZT薄膜、膜厚2 μm ～3 μm を転写法にて製造することができる。あるいは金属薄板上に下地バッファ層を介してPZT膜を直接製膜により作成することもできる。

【0050】

なお、実施の形態1においては一つの圧電素子の電極を2分割し互いに逆相の電圧を印可して逆曲率にたわみ変形させたのに対し、本実施の形態2では圧電素子の固定端部のみに電極を構成し電極配線構造の簡易化を図った。

【0051】

（実施の形態3）

図6は本発明の実施の形態3における光スイッチの斜視図を示す。この実施の形態3ではミラー面を薄膜圧電体の構成面である基板面に対して法線方向に設けており、かつミラー素子を前記基板面の法線方向に駆動している。各構成要素のほとんどは実施の形態1の詳細説明として述べた図1と同様であるので、共通する構成要素には同じ符号を付与している。圧電素子2を構成する薄膜圧電体3、電極4および弾性体5は実施の形態1に準じた構成であるのでここではその図示は省略している。電極4は簡略化のため同一曲率にたわむ部分にのみ構成した。このように簡略化した構成ではミラー素子の駆動される変位が一般には小さくなるが、ひずみ吸収部10を設ける構成以外に、これを補うため圧電素子のたわみ曲率とは逆曲率にたわむ部分に低曲げ剛性部13を構成した。具体的には弾性体

の形状を固定端側からミラー素子1が搭載される可動端側に向かって徐々に細くする形状とすることで効率よく逆曲率のたわみを発生させ、結果として電極構成の簡略化と大きな変位効率の両立を実現することができた。尚、圧電素子2の中央にその長手方向にそって溝15を設けたのは圧電素子の幅方向のたわみ変形を軽減し、長手方向のたわみ変形の効率を上げるための構成である。

【0052】

つぎに有限要素法でこの実施の形態3の構成の光スイッチの性能計算した結果について述べる。圧電定数は製膜した薄膜PZTで測定された圧電薄膜の圧電定数 $d_{31} = -100 \times 10^{-12} \text{ m/V}$ とし、PZTの寸法は長さ3.2mm、全幅1.4mm、溝幅0.1mm、厚み3 μm とし、電極長は3.2mmとした。弾性体5としてシリコンおよびシリコン酸化膜を用い、その厚みをそれぞれ20 μm と10 μm とし、ひずみ吸収部10および低曲げ剛性部13も同じ構成とした。またミラー素子2の質量を200 μg とした。この結果、電極4に30V印可した状態でミラー素子の変位として90.6 μm 動かせることが分かった。

【0053】

また振動モード解析によればその主共振周波数は1.14KHzであり、スイッチング速度として1msecオーダーの高速応答性があることが分かった。

【0054】

図7はこの光スイッチを伝送線路とともに記載した平面図と側面図である。伝送線路11aからの入力光ビーム12aは、ミラー素子1が上方に駆動されていない位置では光ビーム12cとなって伝送線路11cに出射される。圧電素子2により駆動されミラー素子1が図示する上方の位置にある場合には、伝送線路11aからの入力光ビーム12aは90度のV型に構成された反射面をもつミラー素子1により反射され、伝送線路11bへの出射光ビームとなる。

【0055】

なお、ミラー素子は、図中14で想像線として表している部分にミラー素子の保持部を構成しミラー素子の姿勢を高い精度で保持することが望ましい。前述のミラー回転型では、出射光をモニターしこの検出信号を光スイッチの駆動電圧にフィードバックすることで、ミラー姿勢を保つことができるが、本実施例の法線

方向の駆動の場合、ミラー素子の上面ないしは下面（下面の保持手段の図示は省略）に保持のための基準面を設け、保持手段により保持することにより予め設計された位置、姿勢に高精度にミラー素子を固定保持することは容易である。

【0056】

圧電駆動の特徴として、その発生力は、変位するに従って低減する特性をもつことから、この保持手段は、薄膜圧電体の駆動とは別の、静電駆動または機械的ラッチによる手段とし、前記ミラー素子の保持時には薄膜圧電体への電圧印可を解除することが望ましい。とくに静電駆動は薄い絶縁層を介しての電極間の静電吸着力を利用することができ、この力は電極間隔が小さいほど大きく、また必要な電流も非常に小さく低電力であり望ましい。

【0057】

尚、本実施例ではアクチュエータは、長手方向を平行に配置した複数の圧電素子よりなり、複数の光伝送路はこれらの複数の圧電素子の長手方向と平行に配置している。この構成をとることにより図7では1つのミラー素子に4つの光伝送路を配置する場合を述べたが、これを圧電素子の長手方向に多数配置することが可能で、かつ多数の光伝送路を含む光スイッチを小型コンパクトに構成することができる。

【0058】

（実施の形態4）

図8は本発明の実施の形態4における光スイッチの斜視図を示す。この光スイッチでは上記の実施の形態2と同様、4つの圧電素子をおおよそ卍（まんじ）状に配置しており、一方ミラー素子は、実施の形態3と同様、薄膜圧電体の構成面である基板面に対して法線方向にそのミラー面を設けている。

【0059】

各圧電素子に同相の電圧を印可することにより、可動部に基板7に対してミラー素子1を基板に対して法線方向に移動させることができる。

【0060】

光伝送路として入出射端にコリメータレンズをそなえた光ファイバー11を基板7の基板面に平行に複数マトリックス状に配置する。光ファイバー11aを出

射した光ビーム 1 2 a はミラー素子 1 に入射し反射される。圧電素子 2 により駆動され基板面より上昇して出射光ビームの光路に挿入されたミラー素子が図のごとくのあるときにはこの光ビームは 1 2 b の方向に反射され光ファイバー 1 1 b に入射される。ミラー素子が光路に挿入されない場合には、たとえば図中 1 1 a' から出射された出射光ビーム 1 2 a' は、対向して配置された光ファイバー 1 1 c' に入射される。このように圧電素子によりミラー素子の上昇、下降を駆動制御することにより入力光を異なった光伝送路に出力することができる。またこの構成では実施の形態 2 で説明した通りミラー素子を任意の方向に傾ける機能もあるので、ほぼ同相の 4 つの圧電素子の駆動位相を微調し出力光に応じた帰還制御をかけることもできる。

【0061】

なお、この実施例では光伝送路として複数の光ファイバーをマトリックス状に配置したが、これらを平行配置して、入力光を複数のミラー素子で反射させその方向を 1 8 0 度折り返して別の光ファイバーに出力することもできる。

【0062】

【発明の効果】

以上のように本発明によれば、高速大容量化に伴う光通信網の拡大に対応して、高速、高精度光切り替えを低電圧低電力駆動で可能とすると共に、製造の容易さを含めて実用レベルの具体的構成を備えた光スイッチおよびその製造方法、それを用いた情報伝送装置を実現するという顕著な効果が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の実施の形態 1 における光スイッチの斜視図

【図 2】

本発明の実施の形態 1 における光スイッチの一部を表す断面図

【図 3】

本発明の実施の形態 1 における光スイッチの光伝送路の切り替え原理を説明する断面図

【図 4】

本発明の実施の形態 1 における周波数応答特性を表すグラフを示す図

【図 5】

本発明の実施の形態 2 における光スイッチの斜視図

【図 6】

本発明の実施の形態 3 における光スイッチの斜視図

【図 7】

本発明の実施の形態 3 に係る光スイッチを説明するための図

【図 8】

本発明の実施の形態 4 における光スイッチの斜視図

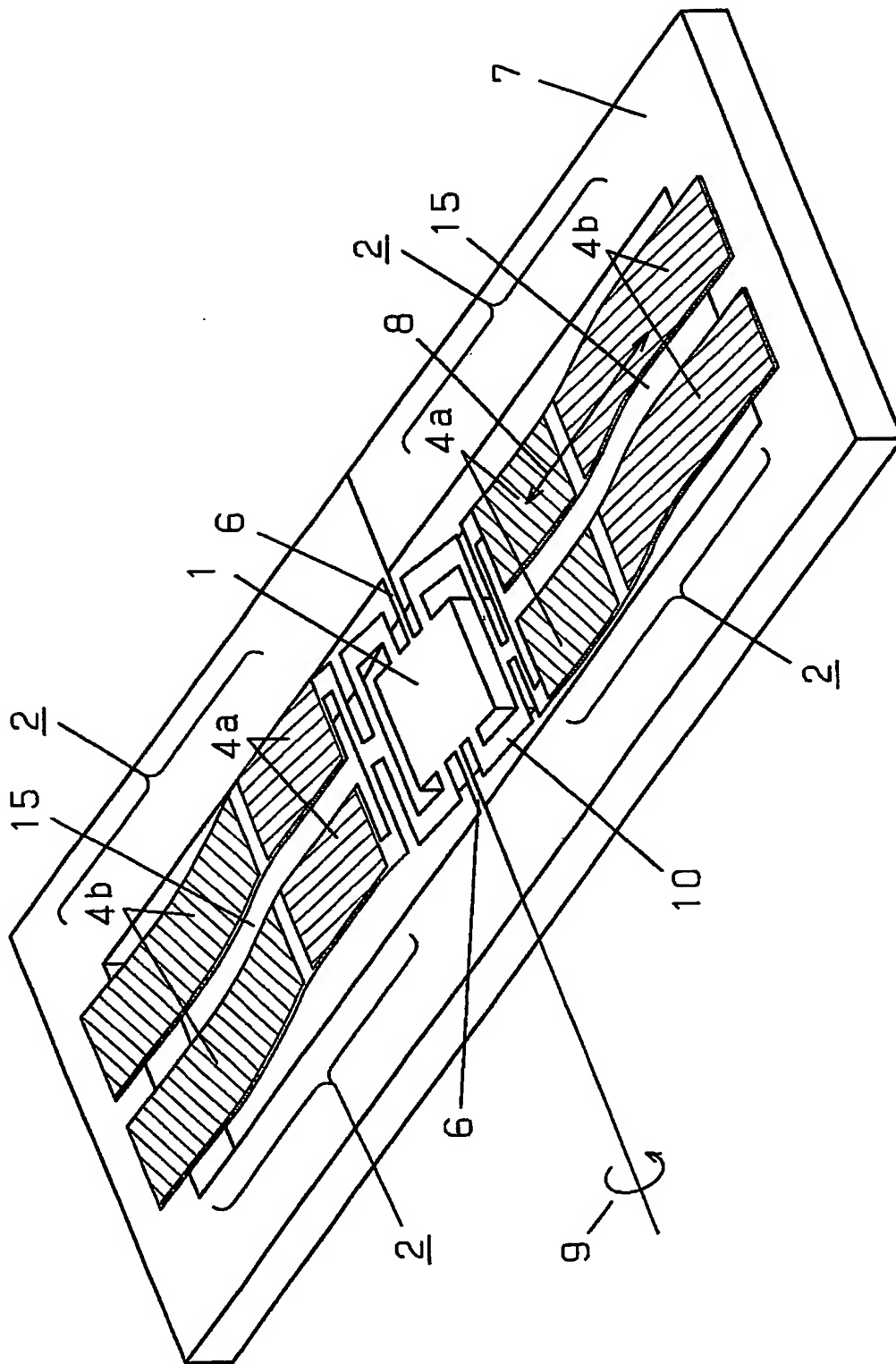
【符号の説明】

- 1 ミラー素子
- 2 圧電素子
- 3 薄膜圧電体
- 4 電極
- 5 弾性体
- 6 トーションバネ
- 7 基板
- 8 圧電素子の長手方向
- 9 回転軸
- 10 ひずみ吸収部
- 11 光伝送路
- 12 入出射光ビーム
- 13 低曲げ剛性部
- 14 ミラー素子の保持手段
- 15 溝

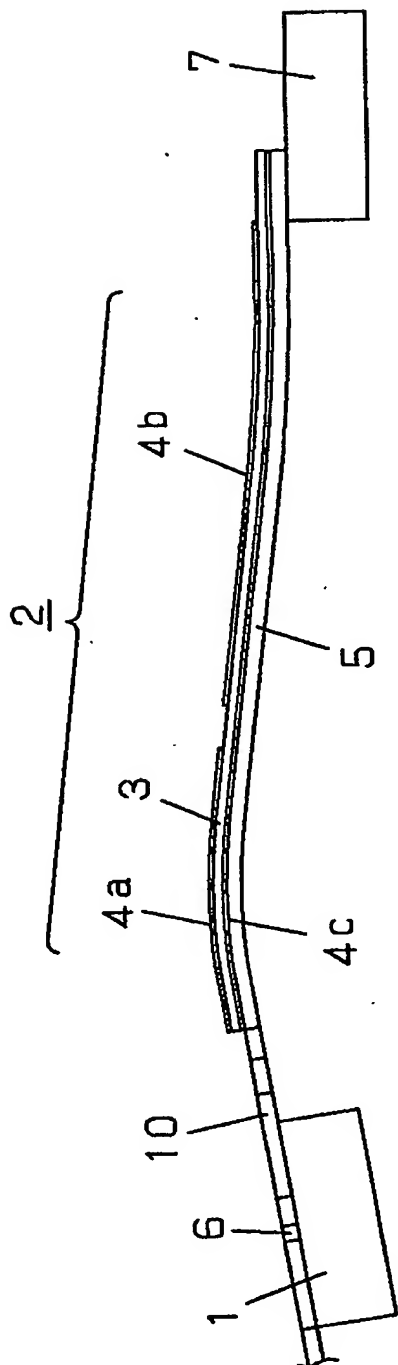
【書類名】

図面

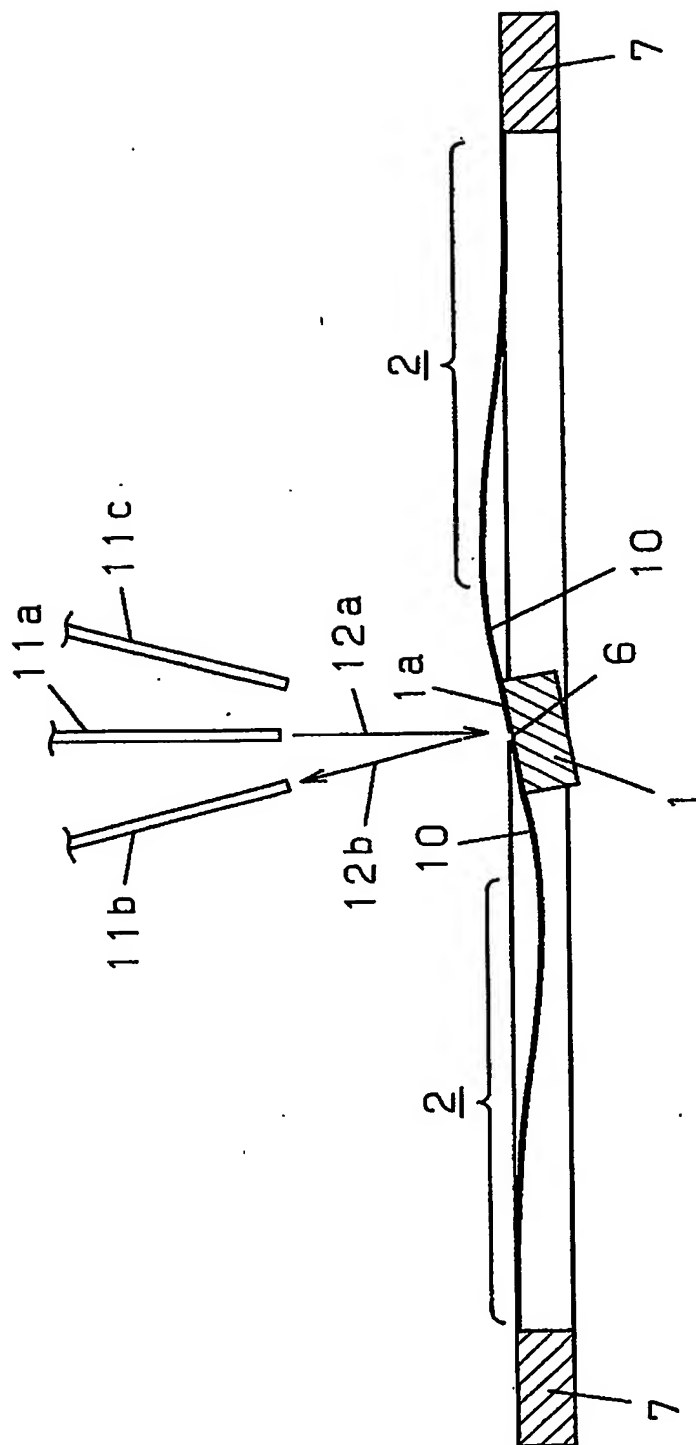
【図1】



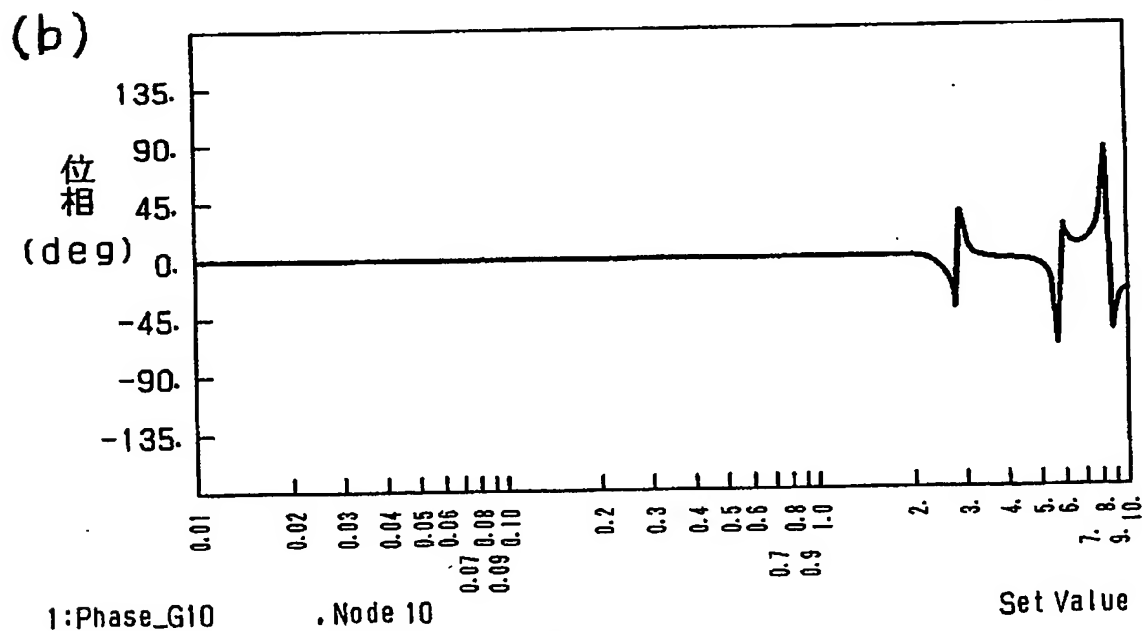
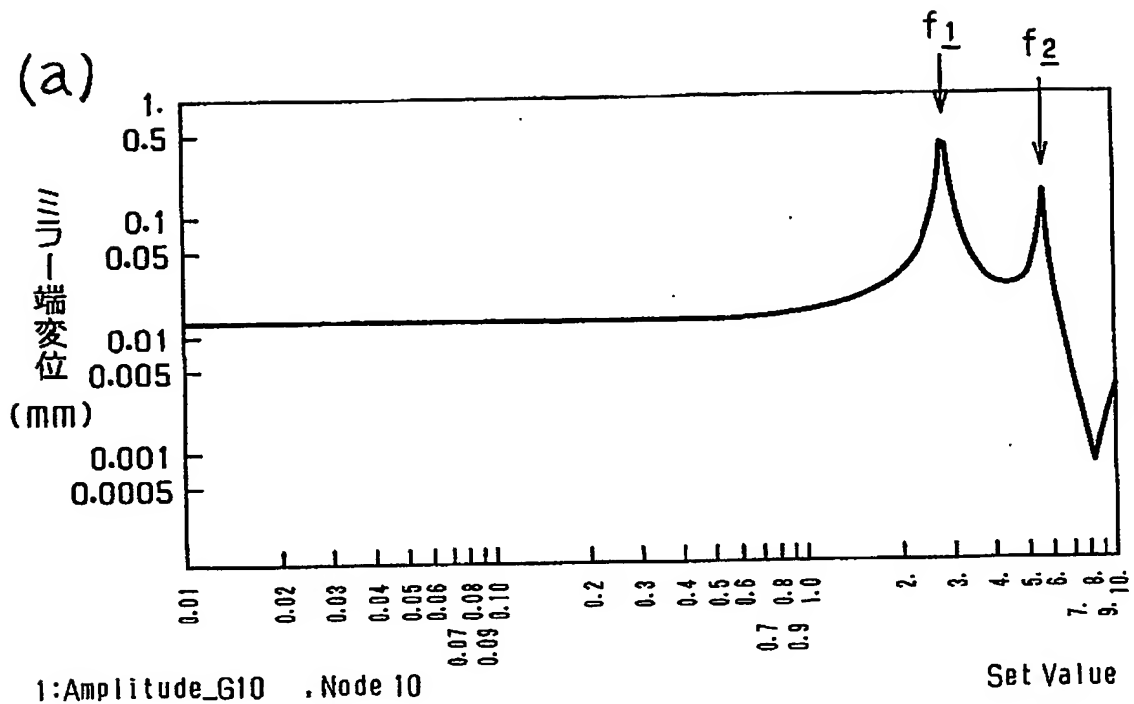
【図 2】



【図 3】

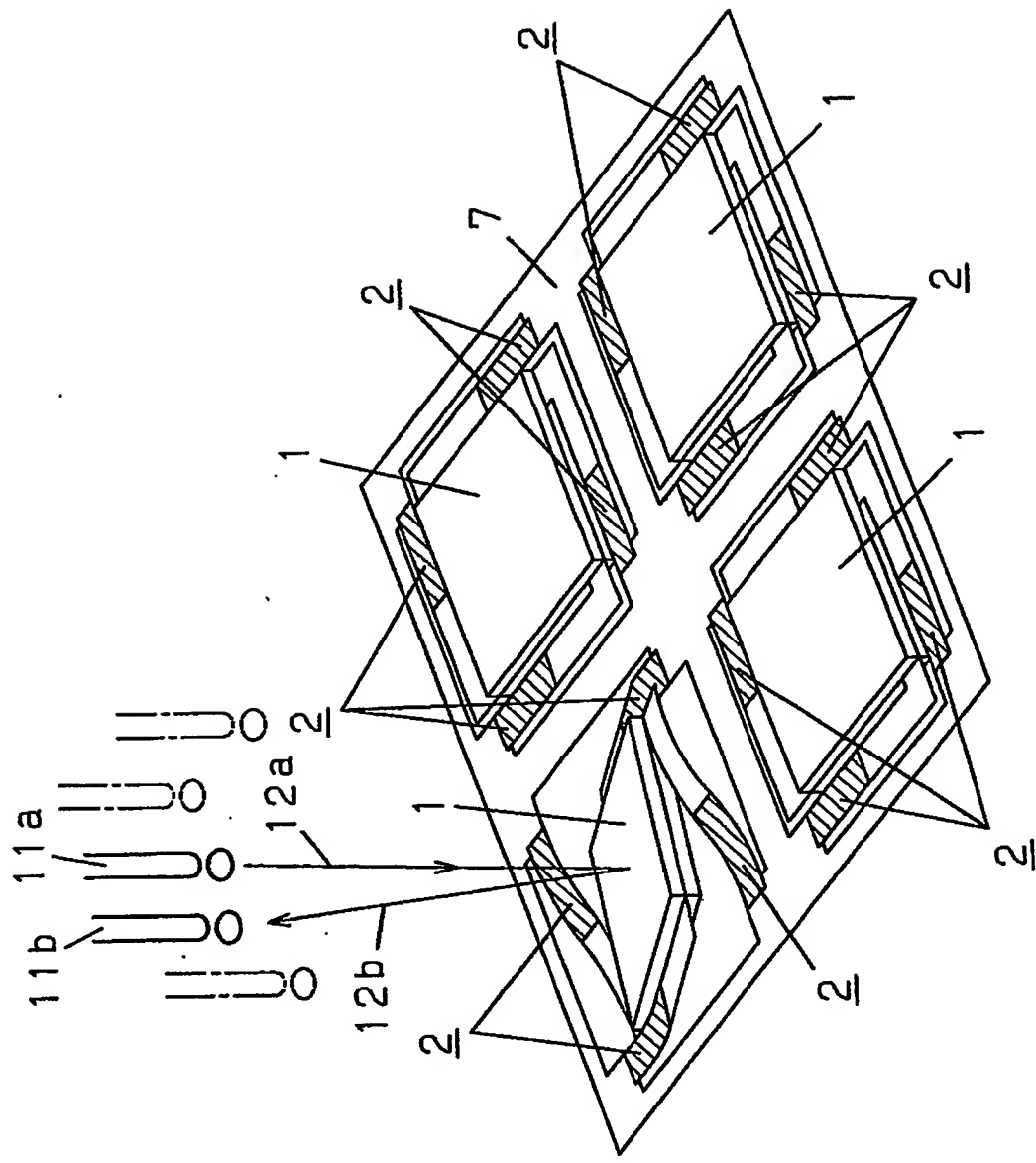


【図 4】

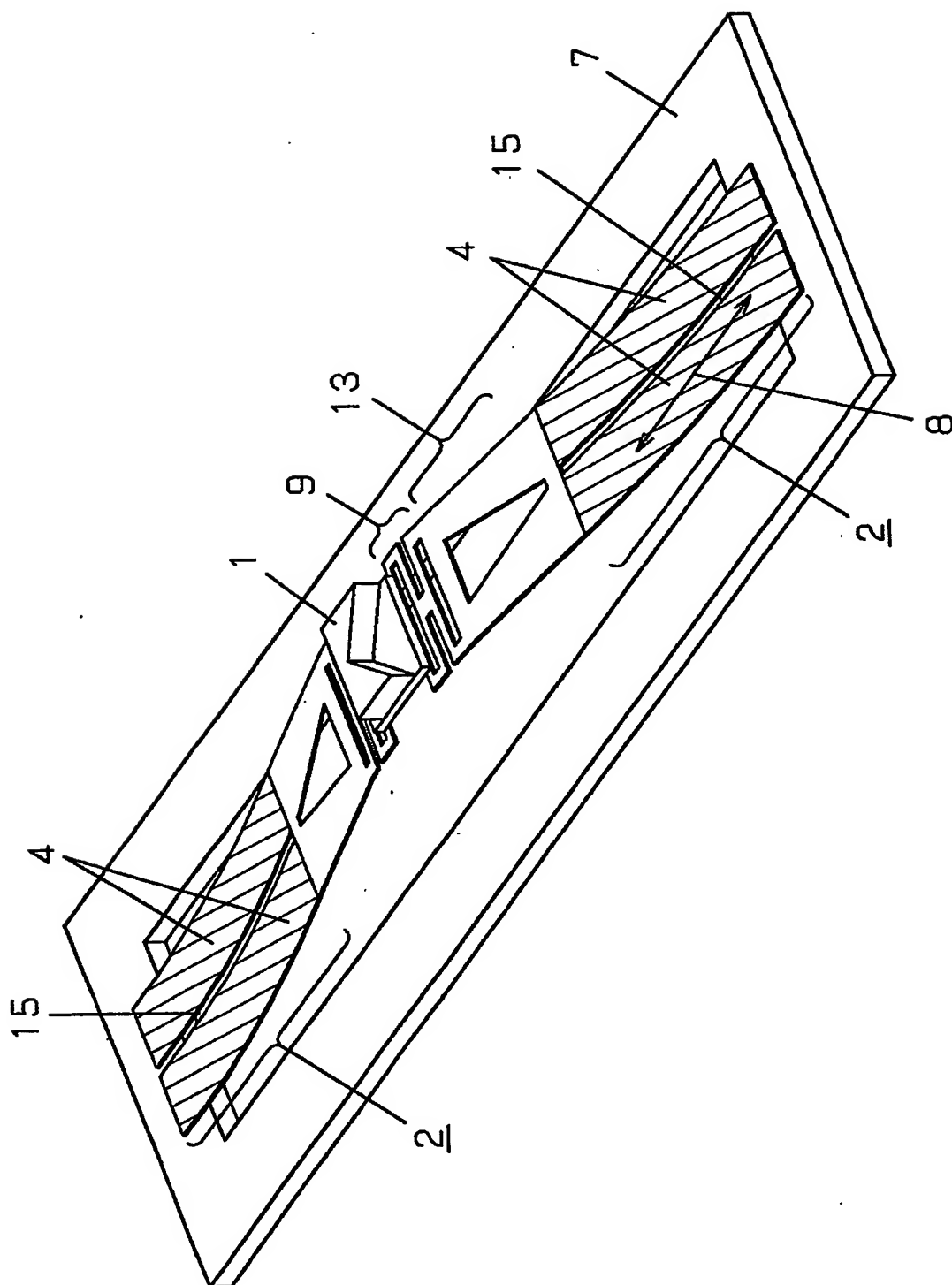


周波数 (KHz)

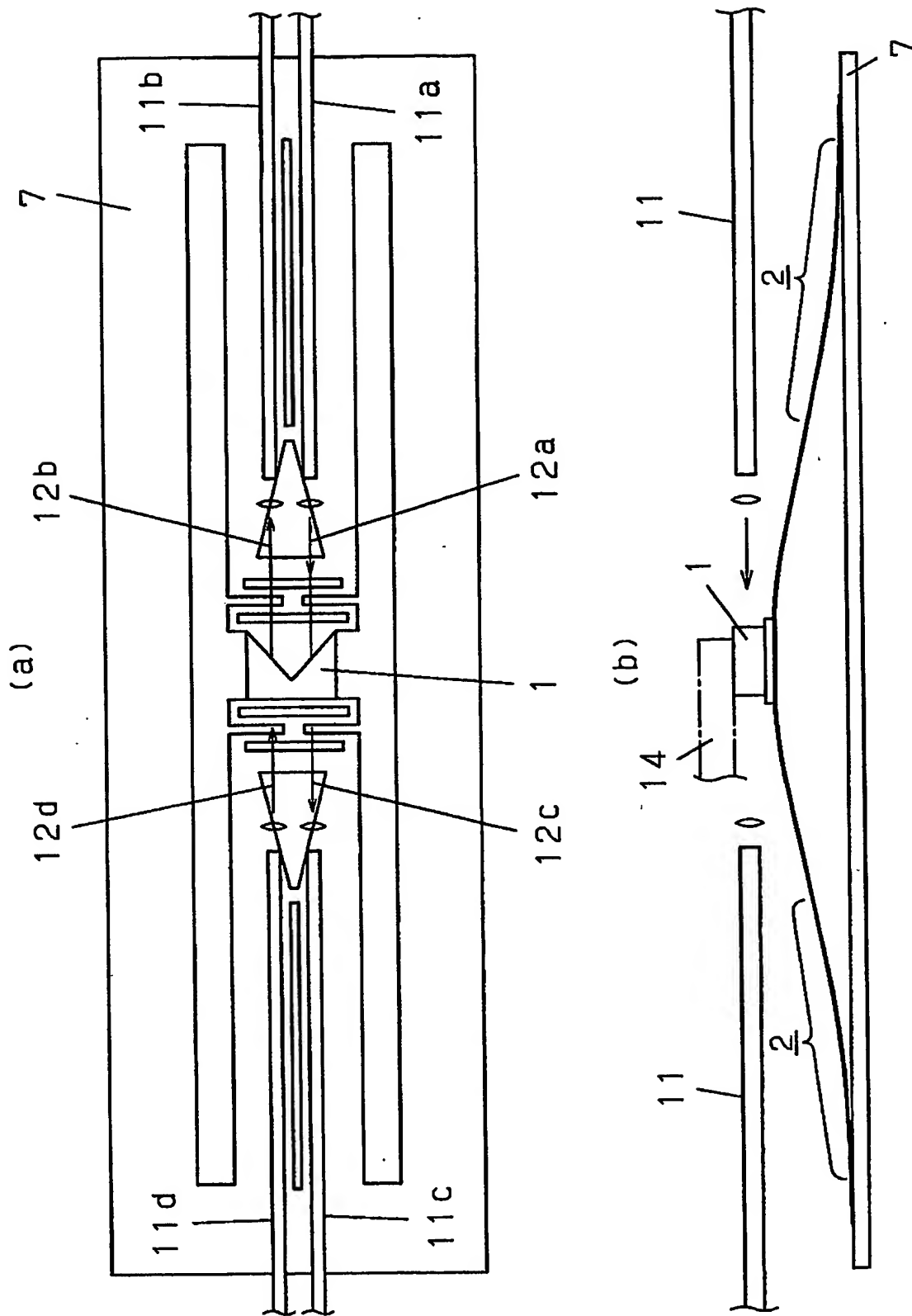
【图 5】



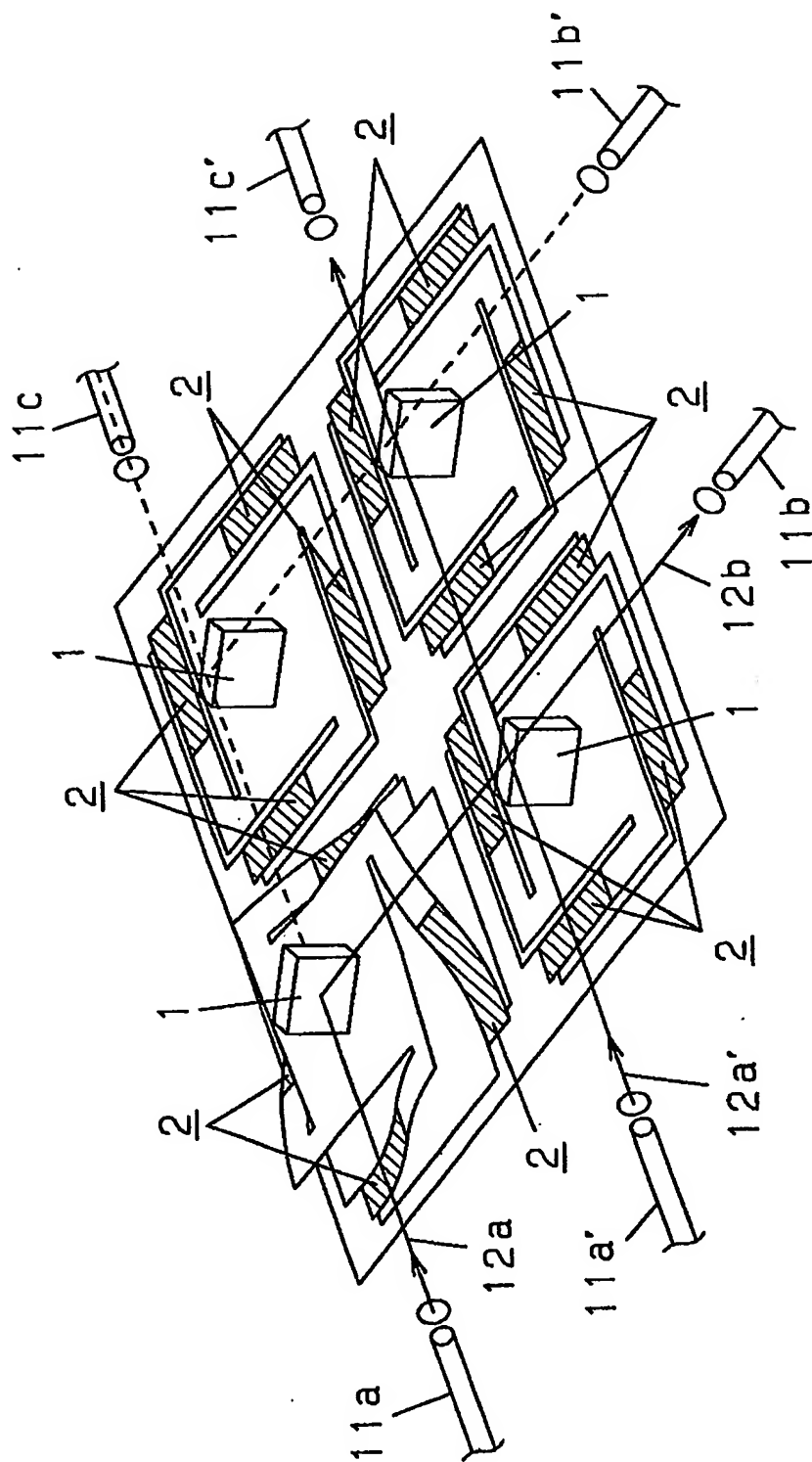
【図6】



【図 7】



【図 8】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 高速、高精度光切り替えを低電圧低電力駆動で可能とすると共に、製造の容易さを含めて実用レベルの具体的構成を備えた光スイッチおよびその製造方法、それを用いた情報伝送装置を提供することを目的とする。

【解決手段】 基板 7 上にはミラー素子 1、および薄膜圧電体 3、電極 4 a、4 b、4 c、弾性体 5 よりなる圧電素子 2 が構成され、電極に電圧を印可することにより薄膜圧電体がたわみ変形し、ミラー素子 1 を駆動する。圧電素子 2 はその長手方向 8 に平行に複数配置され、この長手方向と直交した方向にトーシヨンバネ 6 を設け、ミラー素子 1 を基板 7 に連結して保持する。さらにミラー素子 1 は圧電素子 2 とはひずみ吸収部 1 0 で連結する。このような構成によりトーシヨンバネ 6 を回転軸 9 としてミラー素子 1 がこの回転軸まわりに傾斜される。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005821]

1. 変更年月日 1990年 8月28日
[変更理由] 新規登録
住 所 大阪府門真市大字門真1006番地
氏 名 松下電器産業株式会社